

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR GAS DAN HSD (HIGH SPEED DIESEL) TERHADAP KINERJA DAN PRODUKSI GAS BUANG PEMBANGKIT PADA VARIASI BEBAN PLTGU X

Mulyono, Slamet Priyoatmojo, Ummul Zulaikhah*

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang, 50275
*E-mail: ummulzulaikhah@gmail.com

Abstrak

PLTGU merupakan penggabungan antara Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Sama halnya dengan PLTU, bahan bakar PLTGU bisa berwujud cair, seperti High Speed Diesel (HSD) maupun berupa gas yaitu Compress Natural Gas (CNG). Tujuan penelitian ini yaitu untuk menghitung dan mengetahui pengaruh penggunaan BBG dan HSD terhadap kinerja sistem PLTGU, serta produksi gas buang pada turbin gas. Metode yang digunakan yaitu studi literatur mengenai dasar teori, melakukan observasi ke ruang kontrol dengan mempelajari log sheet. Data juga diperoleh dari pencatatan otomatis oleh komputer ACS Historical Data Management System yang digunakan untuk menyimpan data operasi pembangkit. Hasil yang diperoleh yaitu perbandingan antara BBG dan HSD dengan beban operasi PLTGU yang sama menunjukkan bahwa efisiensi sistem PLTGU tertinggi yang didapat yaitu senilai 48,987 % pada beban operasi 228 MW menggunakan HSD, dan nilai terendahnya yaitu sebesar 36,136 % pada beban operasi 211 MW, serta perbandingan antara BBG dan HSD dengan beban operasi GTG yang sama menunjukkan bahwa produksi gas buang tertinggi yang diperoleh senilai 537,643 kW pada beban operasi GTG 75 MW dengan BBG, dan nilai terendahnya yaitu sebesar 516,113 kW pada beban operasi GTG sebesar 70 MW dengan HSD.

Kata Kunci: *PLTGU, HSD, CNG, efisiensi, gas buang..*

PENDAHULUAN

Untuk menghasilkan energi listrik, dibutuhkan unit pembangkit energi listrik. Salah satu unit pembangkit listrik yang banyak ditemukan saat ini adalah Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU). Pada dasarnya, sistem PLTGU ini merupakan penggabungan antara Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTU memanfaatkan uap dari gas buang hasil pembakaran di PLTG untuk menguapkan air menjadi uap jenuh kering di peralatan *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). Uap jenuh kering inilah yang akan digunakan untuk memutar sudu turbin. Gas yang dihasilkan dalam ruang bakar pada PLTG akan menggerakkan turbin dan kemudian generator, yang akan mengubahnya menjadi energi listrik. Sama halnya dengan PLTU,

Analisis Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Gas..... Mulyono, dkk
bahan bakar PLTG bisa berwujud cair *High Speed Diesel* (HSD) maupun gas yang berupa *Compress Natural Gas* (CNG). Penggunaan bahan bakar menentukan tingkat efisiensi pembakaran dan prosesnya.

Berdasarkan pengalaman saat praktek kerja lapangan di PLTGU X, penggunaan bahan bakar HSD terhitung jarang digunakan, disebabkan beberapa alasan, diantaranya harga BBM yang lebih mahal dari Bahan Bakar Gas (BBG), efek residu yang dihasilkan oleh BBM lebih banyak daripada BBG, dan masih banyak lagi pertimbangan yang lain. Dari beberapa uraian diatas tentunya ada beberapa perbedaan kinerja sistem PLTGU dan produksi gas sisa yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar HSD dengan bahan bakar Gas.

METODE PENELITIAN

PLTGU adalah gabungan antara PLTG dengan PLTU, dimana panas dari gas buang dari PLTG digunakan untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai fluida kerja di PLTU. Dan bagian yang digunakan untuk menghasilkan uap tersebut adalah HRSG. PLTGU merupakan suatu instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi panas (hasil pembakaran bahan bakar dan udara) menjadi energi listrik yang bermanfaat. PLTU memanfaatkan energi panas dari gas buang hasil pembakaran di PLTG untuk memanaskan air di HRSG sehingga menjadi uap jenuh kering. Uap kering inilah yang akan digunakan untuk memutar sudu turbin. Gas yang dihasilkan dalam ruang bakar pada PLTG akan menggerakkan turbin dan kemudian generator, yang akan mengubahnya menjadi energi listrik. Sama halnya dengan PLTU, bahan bakar PLTG bisa berwujud cair (HSD) maupun gas (CNG).

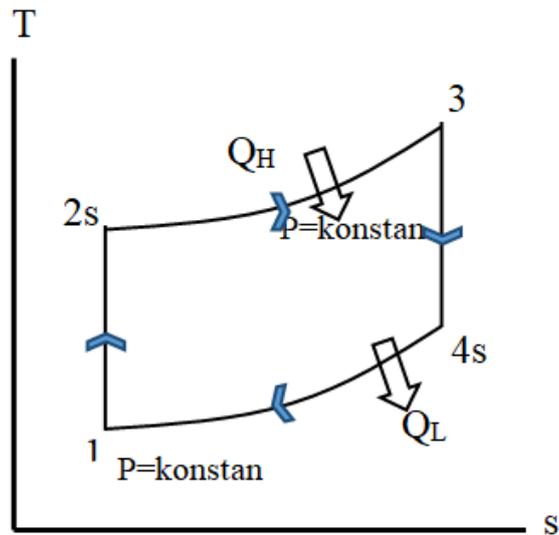
PLTGU adalah gabungan antara PLTG dengan PLTU, dimana panas dari gas buang dari PLTG digunakan untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai fluida kerja di PLTU. Dan bagian yang digunakan untuk menghasilkan uap tersebut adalah HRSG. PLTGU merupakan suatu instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi panas (hasil pembakaran bahan bakar dan udara) menjadi energi listrik yang bermanfaat. PLTU memanfaatkan energi panas dari gas buang hasil pembakaran di PLTG untuk memanaskan air di HRSG sehingga menjadi uap jenuh kering. Uap jenuh kering inilah yang akan digunakan untuk memutar sudu (baling-baling) turbin. Gas yang dihasilkan dalam ruang bakar pada PLTG akan menggerakkan turbin dan kemudian generator, yang akan

Analisis Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Gas..... Mulyono, dkk mengubahnya menjadi energi listrik. Sama halnya dengan PLTU, bahan bakar PLTG bisa berwujud cair (HSD) maupun gas (CNG).

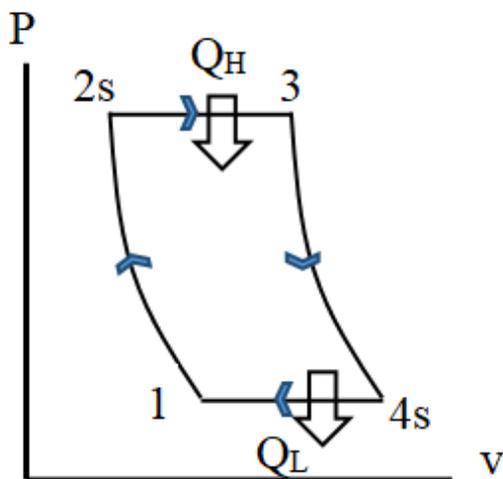
Siklus pada PLTGU

Siklus Turbin Gas

Siklus turbin gas dinyatakan seperti dalam T-s diagram seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan P-V diagram seperti Gambar 2.



Gambar 1 Diagram T-s Siklus Brayton ideal standar udara



Gambar 2 Diagram P-V Siklus Brayton ideal standar udara

Jalannya proses pada diagram T-S dan P-V siklus brayton tersebut dapat diterangkan sebagai berikut:

Proses (1-2) merupakan proses dimana kompresi isentropik dalam kompresor.

$$T_{2s} = T_1 \cdot \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^{(k-1)/k} \dots\dots\dots(1)$$

Proses (2-3) merupakan proses penambahan panas pada tekanan konstan dalam ruang bakar.

Proses (3-4) merupakan proses ekspansi isentropik dalam turbin.

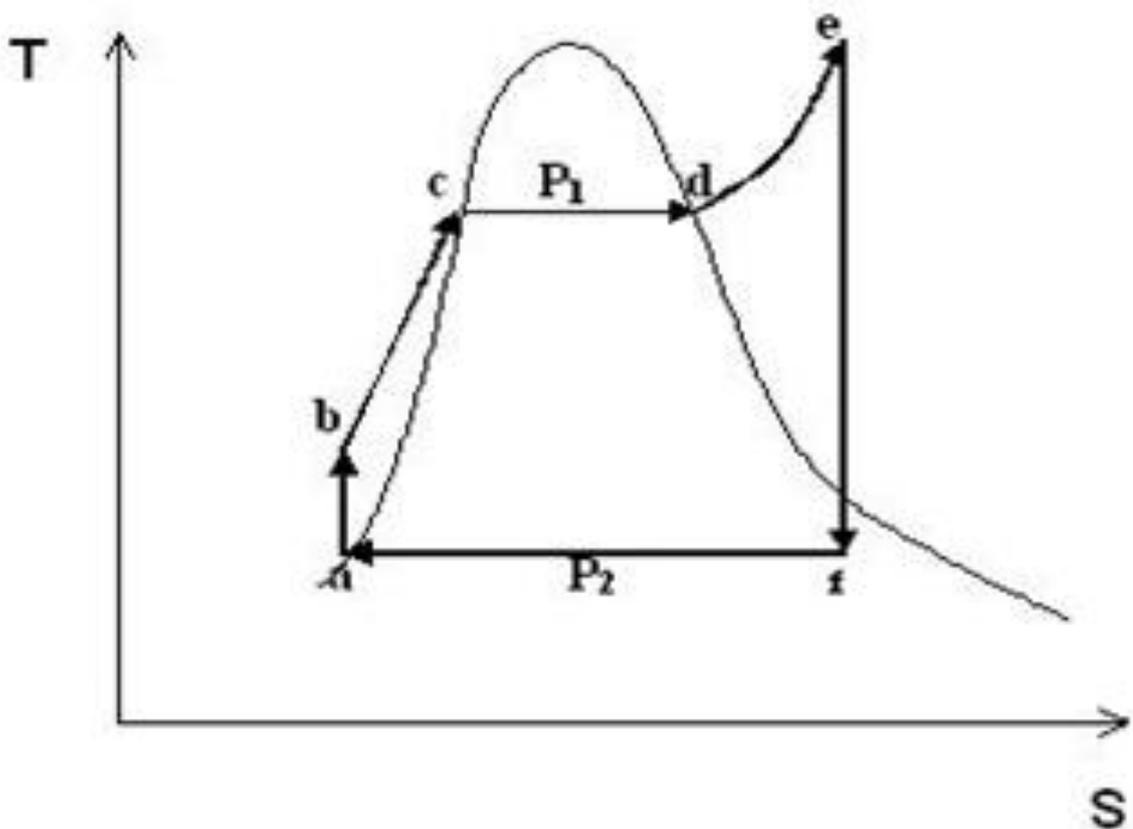
$$T_{4s} = T_3 \cdot \left[\frac{1}{r_p} \right]^{(k-1)/k} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Proses (4-1) merupakan proses pelepasan kalor ke lingkungan pada tekanan konstan.

$$Q_{out} = C_p(T_4 - T_1) \quad \dots\dots\dots (3)$$

Siklus Turbin Uap

Pada dasarnya prinsip kerja suatu PLTU adalah mengikuti siklus Rankine ideal, seperti Gambar 3



Gambar 3 Siklus Rankine teoritis

Proses yang terjadi pada siklus Rankine adalah sebagai berikut:

a – b = Kompresi isentropis, terjadi dalam *Boiler Feed Pump*

b – c = Pemanasan air pada tekanan konstan, terjadi dalam ekonomiser

c – d = penguapan air sampai menjadi uap jenuh pada tekanan dan temperatur konstan, terjadi dalam *evaporator*

Analisis Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Gas..... Mulyono, dkk
d – e = Uap jenuh dikeringkan lebih lanjut sampai menjadi uap panas lanjut pada tekanan konstan, terjadi dalam *superheater*

e – f = Ekspansi isentropis (adiabatis), terjadi dalam turbin uap

f – a = Kondensasi uap pada tekanan dan temperature konstan, terjadi dalam Kondensor.

Bahan Bakar untuk Turbin Gas

Bahan bakar cair

Minyak bakar asalnya dari minyak bumi yang mengandung campuran zat hidrokarbon. Minyak bakar berat yang sedang adalah yang mula-mula sekali digunakan untuk turbin gas yang dipakai di industri.

Parameter yang perlu diperhatikan pada bahan bakar cair ini diantaranya adalah *Specific gravity*, nilai kalor dan diukur sebagai nilai kalor kotor/ *gross calorific value* atau nilai kalor netto/ *nett calorific value*. Perbedaannya ditentukan oleh panas laten kondensasi dari uap air yang dihasilkan selama proses pembakaran.

Bahan bakar Berbentuk Gas

Gas bumi adalah bahan bakar yang ideal untuk turbin gas. Berikut adalah daftar jenis-jenis bahan bakar gas:

- a. Bahan bakar yang secara alami didapatkan dari alam:
 - Gas alam
 - Metan dari penambangan batubara
- b. Bahan bakar gas yang terbuat dari bahan bakar padat
 - Gas yang terbentuk dari batubara (gasifikasi batubara)
 - Gas yang terbentuk dari limbah dan biomasa

Bahan bakar bentuk gas yang biasa digunakan adalah gas petroleum cair (LPG), gas alam, gas hasil produksi, gas *blast furnace*, gas dari pembuatan kokas, dll. Nilai panas bahan bakar gas dinyatakan dalam Kilokalori per normal meter kubik (kKal/Nm³) ditentukan pada suhu normal (20 °C) dan tekanan normal (760 mm Hg).

Komponen Sistem PLTGU

Sistem PLTGU dapat dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu: sistem GTG, HRSG dan STG.

Sistem generator turbin gas (*gas turbine generator*)

Untuk menentukan Efisiensi Turbin Gas dapat dihitung dengan Persamaan (4)

(Moran M.J., 2006):

$$\eta_t = \frac{W_{GT} + (m_g \times c_{pt_4} \times T_{4s})}{(m_g \times c_{pt_3} \times T_3)} \quad (4)$$

Analisis Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Gas..... Mulyono, dkk
 Untuk menentukan Efisiensi *Gas turbine generator* / sistem PLTG dapat dihitung dengan Persamaan (5) (Moran M.J., 2006):

$$\eta_{sistemGTG} = \frac{\dot{W}_{GT}}{Q_{bahanbakar}} \quad (5)$$

Heat recovery steam generator (HRSG)

Untuk menentukan nilai efisiensi dari HRSG dapat menggunakan Persamaan (6) (Kehlhofer, Rolf , 1991.

$$\eta_{HRSG} = \frac{Q_{output HRSG}}{Q_{input HRSG}} \times 100\% \quad (6)$$

Sistem generator turbin uap (*Steam Turbine Generator*)

Untuk menentukan Efisiensi Turbin Uap dapat dihitung dengan Persamaan (7) (. Moran, M.J, 2006):

$$\eta_{sistemSTG} = \frac{\dot{W}_{HP} + \dot{W}_{LP}}{\dot{Q}_{Kondensor} + \dot{W}_{ST}} \quad (7)$$

Dimana \dot{W}_{HP} , \dot{W}_{LP} dan $\dot{Q}_{Kondensor}$ didapat dari Persamaan 8, 9 dan 10.

$$\dot{W}_{HP} = \dot{m}_{total} \times h_{HP} \quad (8)$$

$$\dot{W}_{LP} = \dot{m}_{total} \times h_{LP} \quad (9) \text{ dengan}$$

$$\dot{m}_{total} = \dot{m}_{HP} + \dot{m}_{LP}$$

$$\dot{Q}_{Kondensor} = \dot{m}_{total} \times h_{Kondensor} \quad (10)$$

Efisiensi Mesin PLTGU

Efisiensi mesin PLTG ($\eta_{sistem PLTG}$) dan efisiensi mesin PLTGU ($\eta_{sistem PLTGU}$) dapat dihitung dengan Persamaan (11) dan (12) (Moran, M.J., 2006):

$$\eta_{sistem PLTG} = \frac{\dot{W}_{GT out}}{\dot{Q}_{GT}} \quad (11)$$

$$\eta_{sistem PLTGU} = \frac{\Sigma \dot{W}_{GT out} + \dot{W}_{ST out}}{\Sigma \dot{Q}_{GT}} \quad (12)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini contoh perhitungan efisiensi *Gas turbine generator* / sistem PLTG didapatkan sebagai berikut:

$$\eta_{sistemPLTG} = \frac{\dot{W}_{GT}}{Q_{bahanbakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{sistemPLTG} = \frac{70000}{274690,513} \times 100\%$$

$$\eta_{sistemPLTG} = 25,483\%$$

Berikut ini contoh perhitungan efisiensi dari HRSG :

$$\eta_{HRSG} = \frac{Q_{output\ HRSG}}{Q_{input\ HRSG}} \times 100\%$$

$$\eta_{HRSG} = \frac{176654,722}{521623,668} \times 100\%$$

$$\eta_{HRSG} = 33,866\%$$

Berikut ini contoh perhitungan efisiensi dari STG :

$$\eta_{ST} = \frac{\dot{W}_{HP} + \dot{W}_{LP}}{\dot{Q}_{Kondensor} + \dot{W}_{ST}} \times 100\%$$

$$\eta_{ST} = \frac{123875,833 + 109062,333}{87082,1667 + 26000} \times 100\%$$

$$\eta_{ST} = 48,546\%$$

efisiensi sistem PLTGU ($\eta_{sistem\ PLTGU}$) dapat dihitung dengan Persamaan

$$\eta_{sistem\ PLTGU} = \frac{\Sigma \dot{W}_{GT\ out} + \dot{W}_{ST\ out}}{\Sigma \dot{Q}_{GT}} \times 100\%$$

$$\eta_{sistem\ PLTGU} = \frac{70000 + 26000}{274690,513} \times 100\%$$

$$\eta_{sistem\ PLTGU} = 34,948\%$$

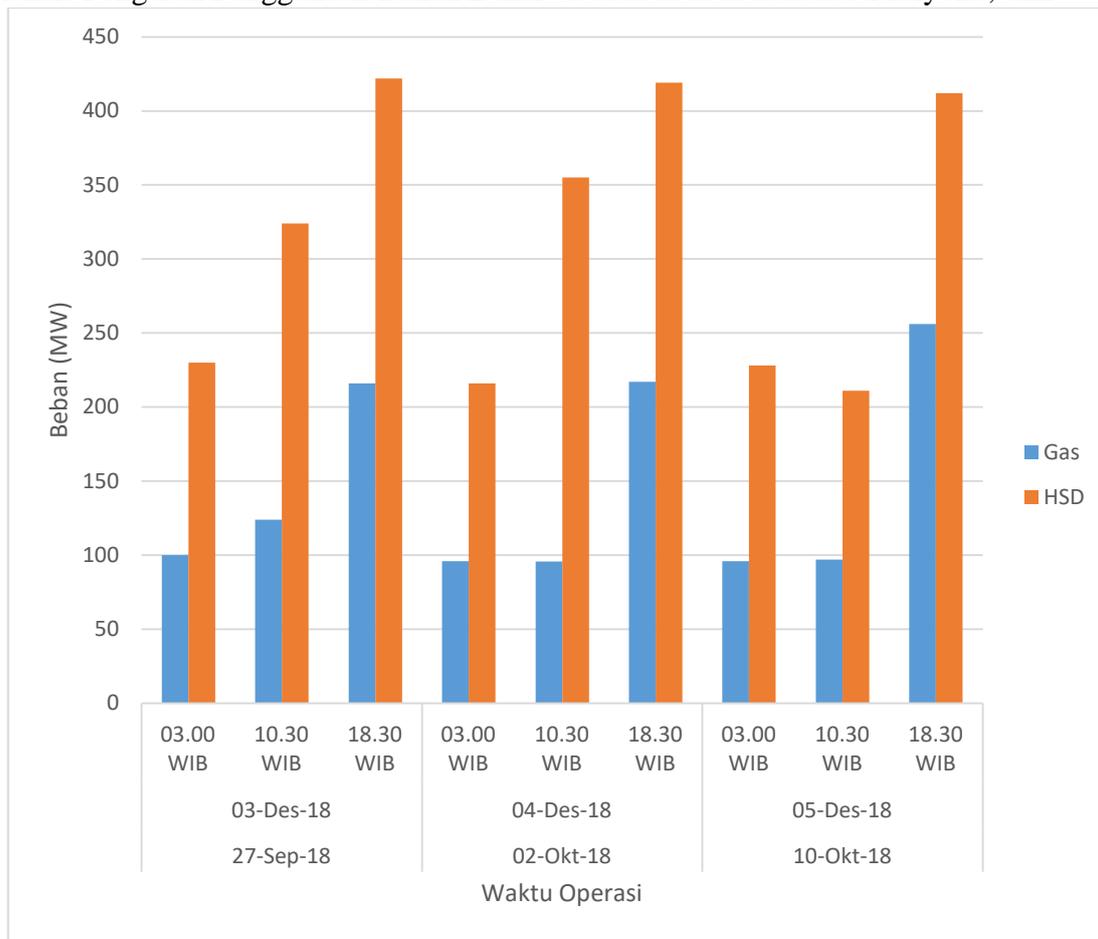
Nilai dari produksi gas buang GTG dari sistem dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{out} = Cp(T_4 - T_1)$$

$$Q_{out} = 1,00496(823 - 299)$$

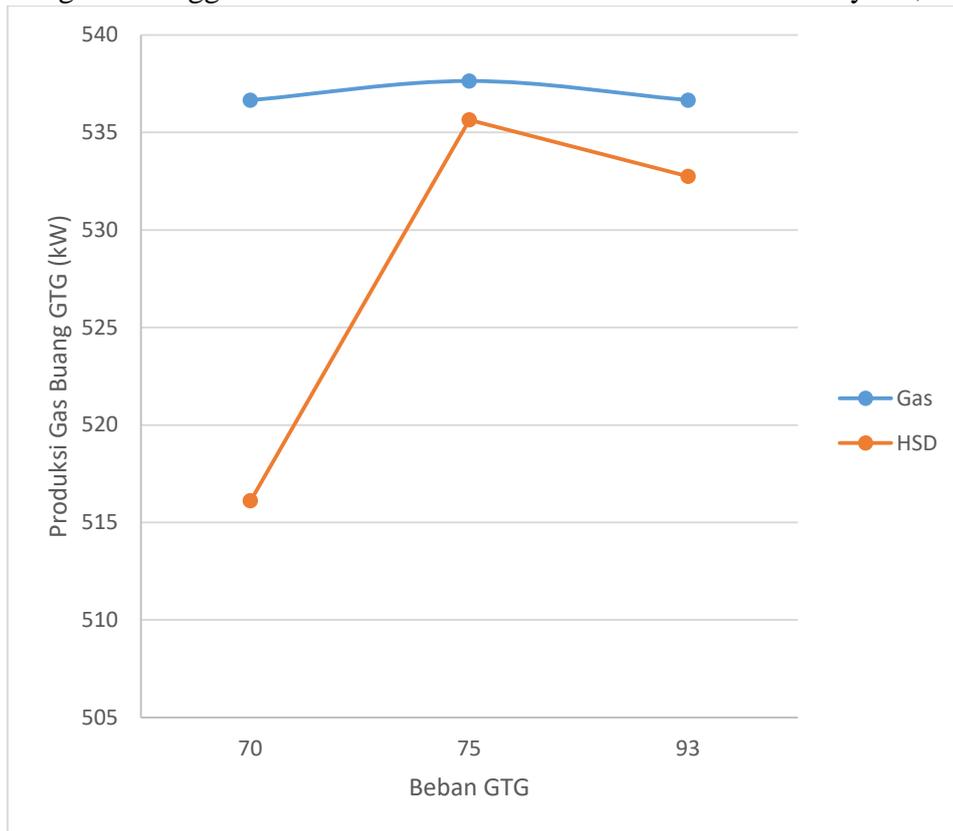
$$Q_{out} = 526,599\ kW$$

Gambar 4 merupakan gambar diagram perbandingan antara beban total PLTGU Blok 2 terhadap waktu operasi secara berturut-turut pada pukul 03.00 WIB, 10.30 WIB, dan 18.00 WIB menggunakan bahan bakar gas dan HSD. Terlihat bahwa beban tertinggi terjadi pada pukul 18.30 WIB dimana hari mulai gelap sehingga penggunaan listrik meningkat dan permintaan beban terendah rata-rata terjadi pada pukul 03.00 WIB dimana sebagian besar penduduk sedang beristirahat sehingga penggunaan daya listrik menurun. Permintaan beban tertinggi terjadi pada tanggal 27 September 2018 pukul 18.30 WIB yaitu sebesar 422 MW, sedangkan untuk permintaan beban terendahnya terjadi pada tanggal 04 dan 05 Desember 2018 pukul 03.00 WIB yaitu sebesar 96 MW.



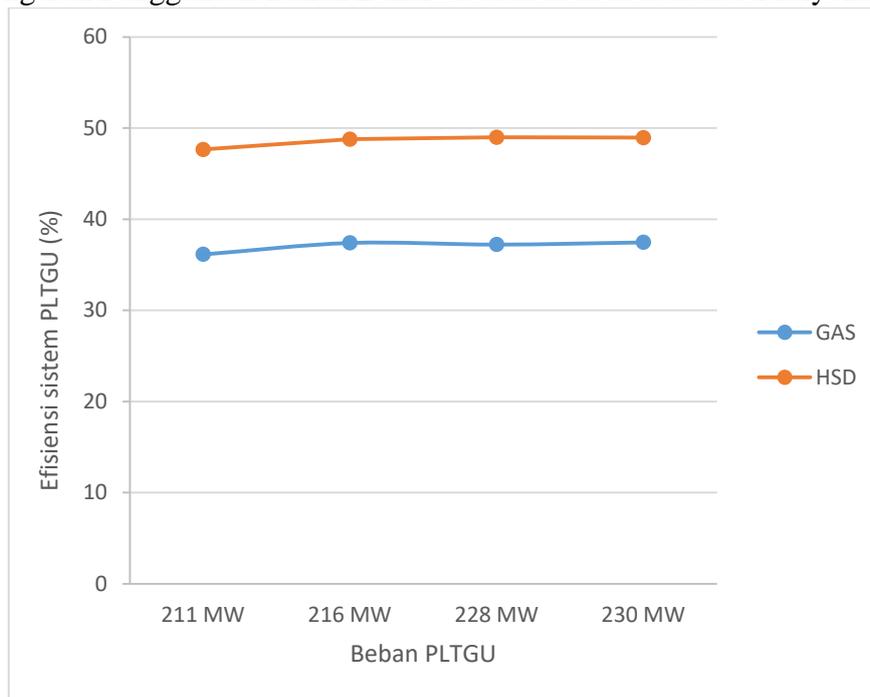
Gambar 4 Grafik perbandingan antara bahan bakar Gas dan HSD dengan parameter waktu operasi dan beban

Gambar 5 menunjukkan perbandingan nilai antara produksi gas buang bahan bakar gas dan HSD pada beban GTG yang sama yaitu 70 MW, 75 MW dan 93 MW. Dapat diketahui bahwa secara keseluruhan nilai produksi gas buang GTG dengan bahan bakar HSD lebih rendah dari penggunaan dengan menggunakan bahan bakar gas. Produksi gas buang tertinggi senilai 537,643 kW pada beban operasi GTG 75 MW dengan bahan bakar gas. Sedangkan untuk produksi gas buang GTG terendah yaitu sebesar 516,113kW pada beban operasi GTG sebesar 70 MW.



Gambar 5 Grafik yang menunjukkan perbandingan antara produksi gas buang bahan bakar gas dan HSD

Berdasarkan gambar grafik 5 dapat diketahui jika produksi gas buang yang dihasilkan pada penggunaan bahan bakar gas memiliki nilai yang lebih tinggi dari penggunaan bahan bakar HSD, serta terdapat kenaikan produksi gas buang GTG baik dari penggunaan bahan bakar gas maupun HSD pada beban 70 MW ke 75 MW akan tetapi keduanya mengalami penurunan saat beroperasi pada beban 93 MW. Dari produksi gas buang ini nantinya akan dimanfaatkan untuk *combined cycle*.



Gambar 6 Grafik perbandingan antara efisiensi sistem PLTGU dengan total beban PLTGU

Gambar 6 menunjukkan perbandingan nilai antara efisiensi keseluruhan sistem PLTGU dengan total beban PLTGU. Dapat diketahui bahwa secara keseluruhan nilai efisiensi yang dihasilkan sistem PLTGU dengan penggunaan bahan bakar HSD lebih tinggi dari penggunaan dengan menggunakan bahan bakar minyak. Efisiensi tertinggi yang didapat yaitu senilai 48,987% pada beban operasi 228 MW menggunakan bahan bakar HSD. Sedangkan efisiensi sistem PLTGU terendah yaitu sebesar 36,136% pada beban operasi 211 MW. Pada Gambar 6 juga dapat diketahui jika penggunaan kedua bahan bakar pada PLTGU tersebut memiliki nilai efisiensi yang cenderung meningkat akibat adanya peningkatan beban. Besarnya nilai kenaikan atau penurunan nilai efisiensi sistem PLTGU sebanding dengan besarnya permintaan daya yang dibutuhkan.

SIMPULAN

Ada beberapa kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis dan pembahasan, yaitu:

1. Besarnya beban yang diproduksi oleh PLTGU X disesuaikan dengan permintaan dari PLN. Permintaan daya akan semakin tinggi saat hari mulai gelap yaitu puncaknya pada pukul 18.30 WIB, tercatat beban tertinggi terjadi pada tanggal 27 September 2018 pukul 18.30 WIB yaitu sebesar 422 MW, sedangkan untuk permintaan beban terendahnya terjadi pada tanggal 04 dan 05 Desember 2018 pukul 03.00 WIB yaitu sebesar 96 MW.

Analisis Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Gas..... Mulyono, dkk

2. Efisiensi tertinggi yang didapat pada sistem PLTGU yaitu senilai 53,809% pada operasi pukul 10.30 WIB tanggal 02 Oktober 2018 menggunakan bahan bakar HSD. Sedangkan efisiensi sistem PLTGU terendah yaitu sebesar 34,2% pada operasi pukul 03.00 WIB tanggal 04 Desember 2018.
3. Perbandingan antara bahan bakar gas dan bahan bakar HSD dengan beban operasi GTG yang sama yaitu sebesar 70 MW, 75 MW dan 93 MW menunjukkan bahwa produksi gas buang tertinggi yang diperoleh senilai 537,643 kW pada beban operasi GTG 75 MW dengan bahan bakar gas. Sedangkan untuk produksi gas buang GTG terendah yaitu sebesar 516,113kW pada beban operasi GTG sebesar 70 MW.
4. Perbandingan antara bahan bakar gas dan bahan bakar HSD dengan beban operasi GTG yang sama yaitu sebesar 211 MW, 216 MW, 228 MW, dan 230 MW menunjukkan bahwa efisiensi sistem PLTGU tertinggi yang didapat yaitu senilai 48,987% pada beban operasi 228 MW menggunakan bahan bakar HSD. Sedangkan efisiensi sistem PLTGU terendah yaitu sebesar 36,136% pada beban operasi 211 MW. Besarnya nilai kenaikan atau penurunan nilai efisiensi sistem PLTGU sebanding dengan besarnya permintaan daya yang dibutuhkan dan berbanding terbalik dengan nilai HV (*Heating Value*) bahan bakarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dietzel, Fritz. 1990. Turbin Pompa dan Kompresor. Terjemahan Dakso Sriyono. Jakarta: Erlangga.
- [2] Kehlhofer, Rolf.1991. Combined Cycle Gas and Steam Turbine Power Plants Second Editions. Oklahoma: PennWell
- [3] Kurniawan, Rahmat dan MulfiHazwi. 2014. "Analisa Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) Sicanang Belawan". Jurnal e-dinamis. Volume 10, Nomor 2, Medan.
- [4] Nasution, Syaiful Amri. 2013. Analisis Rancangan Ruang Bakar Turbin Gas Penggerak Generator Listrik dengan Daya Terpasang 128 MW dengan Menggunakan ANSYS. Skripsi. Medan: Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara.
- [5] Mavendra, Dede. 2016. Kalkulasi Efisiensi Daya Mesin PLTGU dengan Pola Operasi 2-2-1 dan 3-3-1 PT. Indonesia Power Unit Pembangkitan Semarang. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Analisis Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Gas..... Mulyono, dkk
[6] Moran, J. Michael dan Howard N. Shapiro. 2004. Termodinamika Teknik Jilid
II. Terjemahan Yulianto Sulisty Nugroho dan Adi Surjosatyo. Jakarta:
Erlangga.